

УДК 628.16:621.981.3

О. І. ТРИШЕВСЬКИЙ, М. В. САЛТАВЕЦЬ**ІНЖЕНЕРНА МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ ПРОГРЕСИВНОГО
ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ГАРЯЧОЇ ПРОКАТКИ ЛИСТА**

Представлена покрокова інженерна методика проектування прогресивного технологічного процесу гарячої прокатки тонкого листа товщиною до 0,7 мм. Відмінною рисою нової технології є використання прискореного охолодження смуги між чорною і чистою групами клітей прокатного стану. Методика базується на створених математичних моделях теплового стану смуги і валків, їх прискореного теплообміну з навколишнім середовищем і водою на ділянці надшвидкісного охолодження. Розроблені математичні моделі дозволяють провести оптимізацію нового техпроцесу і забезпечити можливість скорочення часу випуску готової продукції і економії енергетичних витрат.

Ключові слова: тонкий лист, гаряча прокатка, прискорене охолодження, робочі валки, тепловий стан, математичне моделювання, теплообмінні процеси, форсунка.

О. И. ТРИШЕВСКИЙ, Н. В. САЛТАВЕЦ**ИНЖЕНЕРНАЯ МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОГРЕССИВНОГО
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ ЛИСТА**

Представлена пошаговая инженерная методика проектирования прогрессивного технологического процесса горячей прокатки тонкого листа толщиной до 0,7 мм. Отличительной чертой новой технологии является использование ускоренного охлаждения полосы между черновой и чистой группами клетей прокатного стана. Методика базируется на созданных математических моделях теплового состояния полосы и валков, их ускоренного теплообмена с окружающей средой и водой на участке сверхскоростного охлаждения. Разработанные математические модели позволяют провести оптимизацию нового техпроцесса и обеспечить возможность сокращения времени выпуска готовой продукции и экономии энергетических затрат.

Ключевые слова: тонкий лист, горячая прокатка, ускоренное охлаждение, рабочие валки, тепловое состояние, математическое моделирование, теплообменные процессы, форсунка.

O. I. TRISHEVSKY, M. V. SALTAVETS**ENGINEERING METHOD OF PROJECTING PROGRESSIVE
TECHNOLOGICAL PROCESS OF HOT LINE SHEET**

A step-by-step engineering technique for designing a progressive hot rolling process for a thin sheet up to 0.7 mm thick is presented. A distinctive feature of the new technology is the use of accelerated cooling of the strip between the rough and the finishing groups of the rolling mill stands. The technology is based on a complex of theoretical, experimental, and industrial studies of heat exchange processes between the rolled strip and rolls using their accelerated cooling, carried out over the years by the Ukrainian Metals Research Institute and the P. Vasilenko Kharkiv National Technical University of Agriculture. The technique is based on the created mathematical models of the thermal state of the strip and rolls, their accelerated heat exchange with the environment and water in the section of ultrafast cooling. The developed mathematical models make it possible to optimize the new process technology and to ensure the possibility of reducing the time of production of finished products and save energy costs. The method involves calculating the total amount of water needed to cool the rolls for rolling strips of maximum and minimum widths, the amount of water for the ultra-rapid cooling installation and the installation for heat treating the metal from the rolling heating, the total required number of nozzles, and also allows you to calculate the number of solenoid valves nozzles.

Keywords: thin sheet, hot rolling, speed-up cooling, working felling, thermal state, mathematical design, heat-exchange processes, nozzles.

Вступ. Вимоги сучасного ринку листопрокатної продукції диктують необхідність підвищення конкурентоспроможності виробленого листа за рахунок зниження його собівартості без втрати якості. Зокрема, це спонукає металургів шукати нові технологічні схеми прокатки тонкого гарячекатаного листа, який за якістю і рівнем властивостей не поступається або наближається до гарячекатаного. Так, відносно недавно з'явився новий технологічний процес прокатки, сутність якого полягає у використанні системи прискореного охолодження полоси між чорною та чистою групами клітей листопрокатного стану, а також прискореного охолодження полоси за чистою групою з метою отримання гарячекатаної полоси товщиною до 0,7 мм. Але, нажаль, до цього часу невирішеною залишається проблема охолодження полоси і валків при мінімумі розходу енергії, що дозволило би більш ефективно використовувати існуюче обладнання для здійснення нового технологічного процесу. Тому завдання, пов'язані з удосконаленням технологічних процесів прокатки тонколистової сталі, зокрема, раціонального охолодження смуги і валків при мінімальному

витрачання енергії з метою зниження собівартості є важливими і актуальними.

Аналіз стану питання, основних досягнень і літератури. Аналіз технічного стану обладнання заводів України і технологій виготовлення полоси на цих заводах і порівняння існуючого обладнання з обладнанням і технологіями сучасного виробництва гарячої полоси за кордоном показали наступне:

1. У промислово розвинених країнах (Німеччина, Японія, Франція, Канада, США, Італія, Південна Корея) проводяться дослідження технології прокатного виробництва гарячекатаної полоси з метою скорочення витрат на виробництво тони прокату (економія палива, електроенергії, металу) за рахунок скорочення часу технологічного процесу. Для досягнення цієї мети, на основі математичного моделювання технологічного процесу з уточненням окремих положень під час натурних експериментів, створено ливарно-прокатні агрегати.

Але, наведена в технічній літературі інформація, про досягнення в розробці нових технологій, має рекламний характер, або такий, що вводить в оману і

не може бути використаний для розробки обладнання і технологій.

2. На Україні обладнання і технологія прокатки полоси були створені відповідно до вимог часу їх побудови, із застосуванням злитків великих розмірів при мінімумі обладнання. Така технологія потребує неодноразового нагріву прокату і внаслідок цього відзначається великими витратами енергії на виробництво тони прокату.

3. Технології прокатки полоси на Україні потребують докорінних змін з урахуванням вимог економії енергії для зменшення собівартості готової окалини;

4. Реальні практичні рекомендації щодо удосконалення технології прокатки тонкого гарячекатаного листа з використанням прискореного охолодження полоси між чорною та чистою групами клітей листопрокатного стану, а також прискореного охолодження полоси за чистою групою клітей відсутні.

Матеріали досліджень. З урахуванням вищевикладеного та з метою розширення сортаменту, підвищення ефективності і забезпечення економії матеріальних ресурсів при виробництві листового металопрокату шляхом удосконалення охолодження полоси і валків на протязі ряду років спочатку в Українському науково-дослідному інституті металів, а потім у Харківському національному технічному університеті сільського господарства ім. П.Василенка був виконаний комплекс теоретичних, експериментальних та промислових досліджень процесів теплообміну між валками та половою при виготовленні тонколистового прокату.

При проведенні цих досліджень необхідно було вирішити наступні задачі:

1. Розробити математичні моделі теплового стану полоси при прокатці
2. Створити математичні моделі теплового стану валка з метою його оптимізації і забезпечення можливості довгострокової роботи валка при безперервній прокатці.
3. Виконати теоретичні дослідження теплообміну полоси, що прокатується, з оточуючим середовищем і водою на ділянці надшвидкісного охолодження, з метою скорочення часу випуску готової продукції і економії енергетичних витрат.
4. Провести теоретичні дослідження теплообміну полоси з прокатними валками і впливу охолодження на тепловий стан валків.
5. Зробити порівняння результатів експериментальних вимірів температури поверхні металу на реально працюючих прокатних станах України з даними, отриманими теоретично.

В результаті виконання усього комплексу згаданих досліджень:

– були розроблені математичні моделі теплового стану полоси від входу в чорнову групу клітей до змотування готової полоси у рулон. З допомогою цих моделей проведені теоретичні дослідження теплообміну в системі полоса – валок – окалина, а також силових параметрів процесу прокатки;

– отримані результати були порівняні з даними виконаних експериментальних досліджень, а також з результатами експериментальних досліджень, проведеними іншими дослідниками. Оцінка достовірності одержаних результатів показала, що використання розроблених математичних моделей для інженерних розрахунків систем керування тепловим станом металу та валків правомірне, бо максимальна похибка обчислень температури і тиску металу на валкі не перевищує, відповідно, 2,1% та 6,8%.

– отримані на основі теоретичних та експериментальних досліджень дані дали змогу рекомендувати найбільш раціональну систему охолодження валків та полоси форсунками, розрахувати їх необхідну кількість, а також визначити ширину зони ефективної дії води з форсунки;

– на основі виконаного комплексу досліджень і математичного моделювання технологічного процесу розроблена нова удосконалена технологія гарячої прокатки полоси при мінімумі енергетичних витрат за рахунок керування тепловим станом металу і валків та їх раціонального охолодження.

Наукові результати, отримані при проведенні згаданих досліджень, неодноразово публікувались у вітчизняній та закордонній науково-технічній літературі, але у зібраному зручному виді, як універсальна методика розрахунку та проектування нової технології ще не були представлені.

Інженерна методика проектування прогресивного технологічного процесу гарячої прокатки листа. З урахуванням визначених мінімально допустимих геометричних розмірів заготовки для прокатки в чорновій групі виходячи з проектної потужності прокатного стану при проектуванні нового технологічного процесу прокатки листа згідно з розробленою методикою необхідно:

1. За допомогою розробленої математичної моделі [1–4] визначити тепловий стан металу при мінімальній кількості прокатних клітей в чистовій і чорновій групах.

2. Визначити тиск металу на валки і порівняти його з тиском на валки, який допускає конструкція клітей, що використовуються [5].

3. Якщо тиск металу на валки в деяких клітях перевищує допустимий змінити режим обтиснень і повторити пункти 1 і 2.

4. Якщо і після цього коректування (виконаного може і декілька разів) – тиск на валки перевищує допустимий, необхідно передбачити встановлення ще однієї кліті (в чорновій або чистовій групі).

Зауваження загального плану. Стала температура валка приймається в залежності від місця де вже встановлено або буде встановлено прокатне обладнання (Україна, Африка, Азія). Дані про сталу температуру валка потрібні при обчисленні теплового стану металу. Температура води, що йде на охолодження, приймається на 15°C більшою ніж середньомісячна температура в літній період. Це пов'язано з використанням градиєнтів для охолодження оборотної води.

5. Обчислити системи охолодження валків для кожної кліті, використовуючи математичну модель валка з розробленим, програмним забезпеченням, та

урахуванням фактичних розмірів зон деформації. Розрахунки

необхідно проводити для випадку прокатки листа найбільшої ширини [6].

6. Визначити необхідну кількість форсунок в ряду (у напрямку поперечному вісі валка), для забезпечення стабілізації теплового режиму роботи валка впродовж одного оберту [6 – 7].

7. Визначити кількість форсунок в ряду (паралельному вісі валка), в залежності від ширини металу, що прокатується і ширини зони дії струменю з однієї форсунки [7].

8. Визначити загальну кількість форсунок, що розташовані на колекторах однієї кліти. Це кількість форсунок в ряду поперечному вісі валка (п.6.) помножена на кількість форсунок в ряду паралельному вісі валка (п.7).

Тип форсунок, їх кількість і розташування на колекторах для охолодження верхнього і нижнього валків може бути різними.

9. Обчислити кількість електромагнітних клапанів для відключення форсунок при прокатці листів ширини меншої за максимальну і необхідної електричної арматури для керування групами електромагнітних клапанів.

10. Після визначення загальної кількості форсунок для одного типорозміру листа повторно виконуються п.6–9. для всього сортаменту листа, що проектується прокатувати.

11. Обчислити загальну кількість води, яка необхідна для охолодження валків при прокатці листів найбільшої ширини. Це похідні дані для вибору насосів на ділянку підготовки оборотної води.

12. Обчислити кількість води, що необхідна для охолодження валків при прокатці листів найменшої ширини. Це похідні дані для вибору схеми регулювання тиску в системі подачі води. Для забезпечення стабільної роботи системи охолодження можливі два варіанти. Один – тиристорне регулювання тиску в системі подачі води [8]. Другий – використання насосу, що забезпечить необхідний тиск перед форсунками.

13. Провести оцінку економічної ефективності обох варіантів – тиристорного, а також варіанту з використанням насосу без тиристорного регулювання. Оцінка виконується, як по вартості обладнання, так і по кількості електроенергії, що буде використана на ділянці підготовки води впродовж року при прокатці сортаменту, що планується для випуску на виробництві.

Для обчислення кількості води на установку надшвидкісного охолодження, яка розташована між чорною і чистою групами клітей необхідно виконати пункти подібні до п.п.6.-13., з урахуванням того, що у цьому випадку охолоджуються не валки, а лист металу, що прокатується.

14. Визначити необхідну кількість форсунок, встановлених над листом вздовж вісі прокатки, які забезпечать зниження його температури до значення, передбаченого технологією прокатки листа в чистовій групі. Визначається на основі досліджень, наведених у роботах [9, 7].

15. В залежності від ширини металу, що прокатується і ширини зони дії струменю однієї форсунки, визначити кількість форсунок в ряду, розташованому перпендикулярно вісі прокатки [7].

16. Визначити загальну кількість форсунок, що розташовані над листом. Це кількість форсунок в ряду вздовж вісі прокатки (п. 14) помножена на кількість рядів, що розташовані перпендикулярно вісі прокатки (п. 15).

17. Визначити загальну кількість форсунок, що розташовані для охолодження листа знизу. (Виконується подібним чином, як за п. 14.-16. з урахуванням значень коефіцієнту тепловіддачі при подачі води знизу; див. підрозділ [7].

18. Після визначення загальної кількості форсунок для одного типорозміру листа повторно виконуються п. 14.-17. для всього сортаменту листа, що проектується прокатувати.

Оскільки при прокатці листа менших максимальної ширини необхідно відключати форсунки, які не використовуються, необхідно повторити виконання етапів згідно з п.9. – 13.

19. Для обчислення кількості води на установку надшвидкісного охолодження, яка розташована за чистою групою клітей перед моталками, повторюється виконання п. 14–18.

20. Для обчислення кількості води на установку термообробки металу з прокатного нагріву, яка розташована за чистою групою клітей, повторно виконуються п. 14–18. з метою забезпечення режиму термообробки, передбаченого технологією.

21. Для обчислення кількості води на установки гідрозмиву окалини, які необхідно встановити в потоці стана повторно виконуються п. 14–18. методики, з урахуванням даних про кількість води, що подається на одну форсунку гідрозмиву.

Таким чином, на основі комплексу досліджень, виконаних в Українському науково-дослідному інституті металів та Харківському національному технічному університеті сільського господарства ім. П.Василенка, розроблена сучасна інженерна методика проектування прогресивного технологічного процесу гарячої прокатки листа. Вона може бути використана як для удосконалення технологічного процесу прокатки на діючому обладнанні із зниженням енергетичних витрат, так і при розробці перспективного обладнання п'ятого покоління для обробки металів тиском.

Список літератури

1. Trishevskii O.I., Saltavets N.V. Mathematical model of the thermal state of strip in rolling // Steel in translation, 2009 – №2, Vol. 39 – P.42–44. Allerton Press Inc.
2. Trishevskii O.I., Saltavets N.V. Thermal state of strip in ultrafast cooling // Steel in translation, 2015 – №6, Vol. 45 – P.443–446. Allerton Press Inc.
3. Тришевський О.І., Салтавець М.В. Дослідження теплового стану штаби при прокатці // Вісник ХНТУСГ «Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві». – вип. 122, Харків, 2012. – С. 138–146.
4. Тришевский О.И., Салтавец Н.В. Теоретические исследования теплового состояния рабочих валков при горячей прокатке листа. // Сталь, 2012. – №9. – С. 81–84.
5. Тришевський О.І., Салтавець М.В. Підвищення точності оцінки зусиль на валки від штаби, що прокатується. // Вісник національного технічного університету (ХП) «Нові рішення в

сучасних технологіях». – вип.42(1015), Харків, 2013. – С. 167–174.

6. Тришевський О.І., Салтавец М.В., Бодаренко С.М. Аналіз теплового стану валків гарячої прокатки при існуючих та перспективних схемах їх охолодження. // Вестник Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. – №47(953). – С. 199–204.
7. Тришевський О.І., Салтавец Н.В., Бодаренко С.Н. Экспериментальные исследования охлаждения полосы в валках. // Вестник национального технического университета «ХПИ» «Новые решения в современных технологиях». – вып.47, Харьков, 2011. – С.63–69.
8. Компоненты систем энергоснабжения и автоматизации в промышленности: Каталог продукции. – Киев: ООО «СВ АЛБТЕРА», 2001. – 61 с.
9. Тришевський О.І., Салтавец Н.В. Математическое моделирование теплового состояния полосы при использовании сверхскоростного охлаждения. // Сталь, 2015. – №6. – С. 31–34.
4. Trishevskij O.I., Saltavec N.V. Teoreticheskie issledovaniya teplovogo sostoyaniya rabochih valkov pri goryachej prokatke lista. // Stal', 2012. – No9. – P. 81–84.
5. Trishevskij O.I., Saltavec M.V. Pidvishchennya tochnosti ocinki zusil' na valki vid shtabi, shcho prokatuet'sya. // Visnik nacional'nogo tekhnichnogo universitetu (HPI) «Novi rishennya v suchasni tekhnologiyah». – vip.42(1015), KHarkiv, 2013. – P. 167–174.
6. Trishevskij O.I., Saltavec M.V., Bodarenko S.M. Analiz teplovogo stanu valkov garyachoi prokatki pri isnuvuchih ta perspektivnih skhemah ih oholodzhennya. // Vestnik nacional'nogo tekhnicheskogo universiteta «HPI» «Novye resheniya v sovremennyh tekhnologiyah». – 2012. – №47(953). – P. 199–204.
7. Trishevskij O.I., Saltavec N.V., Bondarenko S.N. Eksperimental'nye issledovaniya ohlazhdeniya polosy v valkah. // Vestnik nacional'nogo tekhnicheskogo universiteta «HPI» «Novye resheniya v sovremennyh tekhnologiyah». – vyp.47, Har'kov 2011. – P. 63–69.
8. Komponenty sistem ehnergosnabzheniya i avtomatizacii v promyshlennosti: Katalog produkci. – Kiev: ООО «SV AL'TERA», 2001. – 61 p.
9. Trishevskij O.I., Saltavec N.V. Matematicheskoe modelirovanie teplovogo sostoyaniya polosy pri ispol'zovanii sverhskorostnogo ohlazhdeniya. // Stal', 2015. – No 6. – P. 31–34.

References (transliterated)

Надійшла (received).22.09.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Тришевський Олег Ігорович (Тришевский Олег Игоревич, Trishevskiy Oleh Igorovich) – доктор технічних наук, професор, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім.Петра Василенка, завідувач кафедри «Технологія матеріалів», тел. 050-407-26-11, E-mail: 3shev@ukr.net.

Салтавец Микола Вільямович (Салтавец Николай Вильямович, Saltavec' Nikolay Vil'yamovich) Харківський національний технічний університет сільського господарства ім.Петра Василенка, інженер, тел. 7-164-153.